پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره)۱۱ شمارۀ۲، نیمۀ دوّم ۱۳۹۹
صفحۀ ۱۲۱-۱۰۹، نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 2, 2020, p. 109-121 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78938

برهمکنش یون‌های سدیم و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود (*Cicer arietinum* L.)

مصطفی شمس‌آبادی[1]، علی گنجعلی[2*]، مهرداد لاهوتی[3] و الهام امجدی[4]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و نیز عضو پیوستۀ گروه پژوهشی بقولات پژوهشکدۀ علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ mlahouti@um.ac.ir
۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ elham.amjadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶

چکیده

یون سدیم به عنوان یکی از عوامل اصلی تنش شوری مطرح است و در این راستا گزارش‌هایی از نقش بهبوددهندگی یون کلسیم برای اثرات منفی ناشی از تنش شوری ارائه شده است. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری (یون سدیم) بر ارقام تجاری نخود (جم و پیروز) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط فیتوترون در محل آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. هر گلدان به حجم دو لیتر حاوی مخلوطی از خاک باغچه و ماسه نرم به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. در این آزمایش تأثیر سطوح مختلف شوری شامل صفر (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر توأم با کاربرد سولفات کلسیم با غلظت‌های صفر (شاهد) و ۵ میلی‌مولار بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه در مرحله گلدهی مورد بررسی قرار گرفت. صفاتی مانند سطح برگ، طول ریشه و میزان پتاسیم برگ با افزایش غلظت یون سدیم کاهش یافت و این کاهش در سطوح شوری dS/m ۱۲-۹ معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵). با افزایش میزان شوری صفاتی از قبیل مقاومت روزنه‌ای، مقدار سدیم و پرولین برگ و ریشه در راستای کاهش تلفات و جذب بیشتر آب به دنبال وقوع تنش ثانویه خشکی به صورت معنی‌داری افزایش یافت (P≤۰/۰۵). نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از سولفات کلسیم به منظور کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری به‌ویژه در سطوح بالای شوری می‌تواند در گیاه نخود امیدبخش باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، کلسیم، مرحله گلدهی، نخود

مقدمه

حبوبات یکی از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بسیاری از مردم کشورهای در حال توسعه می‌باشند. به دلیل دو برابر بودن میزان پروتئین حبوبات نسبت به غلات، حبوبات بعنوان مکمل پروتئین غلات در رژیم غذایی بویژه برای افراد کم‌درآمد اهمیت زیادی دارد. نخود با تولید جهانی حدود ۱۲میلیون تن در سال، سومین حبوبه مهم دنیا به‌شمار می‌رود (FAO, 2018). نخود از جمله گیاهان حساس به شوری است و آستانه تحمل به تنش شوری این گیاه بین ۲ تا ۳ دسی زیمنس بر متر با توجه به ژنوتیپ گیاه متفاوت است (Maliro *et al*., 2008). شناخت ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش شوری هدفی مهم و اقتصادی در جهت بهبود عملکرد نخود در خاک‌های شور می‌باشد. شوری خاک و آب از جمله عوامل تنش‌زای محیطی می‌باشد که علاوه بر اختلال و کاهش قابلیت جذب آب توسط ریشه‌ها، گیاهان را نیز از نظر تغذیه‌ای و فرآیندهای متابولیکی دچار مشکل می‌نماید (Khorasaninejad *et al*., 2010). شوری سبب افزایش فشردگی خاک، کاهش مواد آلی و نفوذپذیری خاک، تجمع بیش از حد یون‌های مضر سدیم و کلر می‌شود، در حالی‌که غلظت یون پتاسیم در گیاه در این شرایط کاهش می‌یابد. کاهش آب در دسترس در شرایط تنش شوری سبب تخریب غشای سلولی و تجمع یون‌ها در محیط رشد گیاه شده و مانع جذب آب کافی توسط گیاه می‌گردد (Shahid *et al*., 2012).

تجمع یون سدیم در برگ نخود و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی از عوامل اصلی آسیب‌پذیری گیاه در مقابل تنش شوری است. در محیط‌های شور ساختار کلروپلاست‌ها و

* نویسنده مسئول: ganjeali@um.ac.ir

رنگیزه‌ها در گیاهـان تخریـب مـی‌شـوند، همچنـین متابولیسـم نیتروژن و ساخت ترکیباتی نظیر پرولین دچار اختلال می‌شـود که علاوه بر کاهش توان اسمزی گیاه میزان کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. به دنبال افزایش یون سدیم، مقاومت روزنه‌ای در نتیجه بسته‌شدن روزنه‌ها افزایش می‌یابد و متعاقب آن کـاهش جـذب عناصر غذایی و افزایش سمیت یونی بروز خواهد کرد (Zaki & Radwan., 2011).

پرولین علاوه بر این‌که به عنوان ماده تنظیم‌کننده اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل عمل می‌کند، از طریـق جلـوگیری از دناتوره‌شدن ساختارهای پروتئینی نقش حفاظـت از زیرسـاخت های سلولی در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد را نیـز بـه عهـده دارد. در بسیاری از گونه‌هـا، پـرولین در شـرایط تـنش ازجملـه کمبود آب، شوری، دماهای بالا و شدت نور زیاد تولید مـی‌شـود (Singh, 2004).

برخی عناصر مانند کلسیم قادر بـه خنثـی‌کـردن عـوارض ناشی از تنش شوری می‌باشـند (Tahir *et al.*, 2006). نشـانه های کمبود کلسیم زمانی مطرح می‌شود که نسـبت سـدیم بـه کلسیم در محلول خاک زیاد باشد. به نظر می‌رسـد کلسـیم بـه آسانی در مکان‌های پیوندی غشاء، جایگزین سایر کاتیون‌ها مـی شود و گیاه با کاهش فراهمی کلسیم به طور جدی آسـیب‌پـذیر می‌شود (Levent Tuna *et al*., 2007). شوری سبب کـاهش مقدار فسفولیپیدهای غشاء شده که نتیجه آن کاهش چگالی بار در سطح غشاء می‌باشد. افزایش غلظت کلسیم در محیط ریشـه و در شرایط تنش شوری منجر به بهبود اثرات بازدارندگی رشـد شده است. تأثیر مثبت کلسیم در رشـد طـولی سـلول، تقسـیم سلول و تأثیر آن در pH سلول، در مطالعات مختلف تأیید شـده است (Humeau *et al*., 2018).

در تـنش شـوری، غلظـت پتاسـیم در بافـت‌هـای گیـاهی کاهش می‌یابد که نتیجـه آن کـاهش رشـد و عملکـرد گیاهـان است (Kumar *et al*., 2004). از آنجا که تحقیقـات در زمینـه واکنش ارقام نخود به حضور یون‌هـای سـدیم و پتاسـیم انـدک بوده است و با توجه به اهمیت نقش بهبوددهنـدگی کلسـیم در شرایط تنش شوری، لذا این پژوهش به منظور بررسـی واکـنش ارقام نخود رایج کشور به غلظت‌های مختلـف یـون‌هـای Na^+ و Ca^{2+} اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشـی از تنش شوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقـام نخود جم و پیروز[1]، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طـرح کـاملاً تصـادفی بـا سـه تکـرار در سـال ۱۳۸۸ در فیتـوترون آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علـوم پایـه و پژوهشـکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این آزمـایش تأثیر پنج سطح شوری شامل غلظت‌های صفر (شـاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ dS/m سدیم و دو سطح کلسیم شامل غلظـت‌هـای صـفر (شاهد) و ۵ میلی‌مولار سولفات کلسیم مورد بررسی قرار گرفت. هر گلدان به حجم دو لیتر کـه بـا مخلـوطی از خـاک باغچـه و ماسه نرم پر شده بودند به عنوان یک واحـد آزمایشـی انتخـاب شدند. گلدان‌ها به مدت یک هفته تا سبز شدن با آب معمـولی، آبیاری شـد. پـس از ایـن زمـان، گلـدان‌هـا مطـابق تیمارهـای آزمایشی (اعمال سطوح مختلف شوری و کلسیم) آبیاری شدند. به منظور ثابت‌نگه‌داشتن مقدار شوری در محیط کشت هـدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری و مرتباً کنتـرل شـد. طـی دوره رشـد، فتوپریـود شـامل ۱۶ سـاعت روشـنایی و ۸ سـاعت تاریکی و دما بین ۲۸-۲۴ درجه سانتی گراد ثابـت نگـه داشـته شد. گیاهان تا مرحله گلدهی (گلدهی ۵۰ درصد بوته‌هـا) رشـد کردند و پس از این مرحله (۷ هفتـه پـس از کاشـت) برداشـت شدند.

گیاهان ۷هفته‌ای از گلدان خارج و بخش هـوایی و ریشـه گیاه تفکیک شدند. صفات مورفولوژیک گیاه شامل ارتفـاع بوتـه به وسیله خط‌کش، سطح برگ‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیـری سطح برگ[2]، ساخت شرکت ADC انگلستان مدل Light Box اندازه‌گیری شدند و صفات مربوط به ریشه شامل طـول پـس از رنگ‌آمیزی با پرمنگنات منیزیوم و خشک‌کـردن آب موجـود در سطح ریشه، بـا اسـتفاده دسـتگاه اسـکنر متصـل بـه کـامپیوتر ساخت شرکت Delta-T SCAN انگلستان اندازه‌گیری شـدند. میزان مقاومت روزنه‌ای گیاه توسط دستگاه پرومتر (DELTA -T DEVICES UK AP4) اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظـور تعیین وزن خشک ساقه، برگ‌ها و ریشه‌ها در آون ۷۰ درجه بـه مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها بـا ترازویـی بـا دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیـری شـد. عـدد کلروفیـل‌متـر (عـدد SPAD) بـه وسـیله دسـتگاه کلروفیـل‌متـر مـدل CCM-200 اندازه‌گیری شدند.

شاخص پایداری غشاء

پایداری غشاء بـا اسـتفاده از روش Sairam & Saxena (2001) انجام شد و پس از رسـیدن دمـای لولـه‌هـا بـه دمـای محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌هـا بـه وسـیله دسـتگاه ECمتـر

1. Jam and Pirooz
2. Leaf Area Meter

(مدل Jenway) اندازه‌گیری و سپس شاخص پایداری غشاء (MSI) بر حسب درصد از معادله زیر به‌دست آمد (Sairam *et al*., 2001).

(۱)

$$100 \times MSI (\%)= [1-(C_1/C_2)]$$

C_1 هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰ درجه و C_2 هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰ درجه می‌باشد.

محتوای نسبی آب

با استفاده از روش Bian & Jiang (2009) محتوای نسبی آب (RWC)[1] اندازه‌گیری و با استفاده از معادله زیر بر حسب درصد محاسبه گردید:

(۲)

$$RWC (\%)= (FW-DW/TW-DW)\times 100$$

Fw وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت آماس کامل می‌باشد.

سنجش پرولین

برای سنجش پرولین گیاه بر حسب میکروگرم در گرم وزن‌تر، مقدار جذب محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به‌دست‌آمد (Bates *et al*., 1973).

(۳)

$$Prolin\ (\mu mol\ g^{-1}\ FW)= \left[\frac{\mu g prolin}{ml} \times \frac{Toloen(ml)}{115.5(\mu g/mol)}\right] \div \frac{sample(g)}{5}$$

سنجش سدیم، پتاسیم و کلسیم

برای این منظور، جذب محلول‌های حاصله توسط فلیم‌فتومتر (JENWAY PFP 7) خوانده شد. غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم به روش نورسنجی شعله‌ای و توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای مدل Corning تعیین گردید. غلظت نهایی هر کاتیون با استفاده از منحنی استاندارد به طور جداگانه تعیین شد و مقدار آن در برگ و ریشه خشک شده محاسبه گردید (Chapman & Pratt., 1961).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارMstat-C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد (P≤۰/۰۵) استفاده شد. نمودارهای مربوطه به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک

در این آزمایش شوری، رقم و برهم‌کنش شوری و کلسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه و شوری و رقم تأثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ گیاه داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش تدریجی وزن خشک ساقه و ریشه شد که در ساقه و برگ در سطوح شوری ۶-۱۲dS/m کاهش و در کلیه سطوح شوری در ریشه نسبت به شاهد معنی‌دار بود. شوری در هر دو رقم وزن خشک ساقه را کاهش داد. کاهش فوق در رقم جم در سطوح شوری۶-۱۲dS /m و در رقم پیروز در سطوح شوری ۹-۱۲dS/m نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود و این کاهش با نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده روی گیاه ذرت (Kaya *et al*., 2013) مطابقت دارد. باور بر این است که پاسخ منفی وزن خشک گیاه به افزایش تنش شوری، حاصل کاهش سطح برگ، جذب کمتر نور و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌باشد. در واقع در شرایط تنش شوری، هسته و DNA سلول متلاشی و حالتی مشابه مرگ برنامه‌ریزی‌شده به وجود می‌آید. همچنین اختلال در جذب عناصر غذایی ناشی از رقابت سدیم با پتاسیم سبب صرف انرژی بیشتر گیاه جهت تولید مواد آلی شده و انرژی لازم برای مقابله با تنش شوری و همچنین کارآیی سیستم ریشه کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش طول و وزن خشک ریشه و اندام بخش هوایی می‌گردد (Bai *et al*., 2011;). تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جم بیشتر از رقم پیروز بود (جدول ۲). تأثیر کلسیم در بهبود وزن خشک ساقه احتمالاً به دلیل تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون و کنترل تبادلات یونی در حضور کلسیم می‌باشد (Sanders, 2002).

تجزیه واریانس مشاهدات در مرحله گلدهی نشان داد که شوری، برهمکنش شوری و کلسیم و همچنین برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر مجموع طول ریشه‌ها داشت. مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که شوری، مجموع طول ریشه‌ها را کاهش داد (جدول ۲). این کاهش در سطوح شوری ۳-۱۲dS/m نسبت به شاهد معنی‌دار بود که به علت کاهش پتانسیل آب موجود در خاک و تجمع املاح در محیط ریشه می‌باشد و در نهایت جذب آب به‌وسیلهٔ ریشه را محدود می‌سازد (Akbari Duzhi *et al*., 2010). در هر دو رقم، شوری در تمامی سطوح با ایجاد محدودیت در فتوسنتز، مانع رشد و سبب کاهش مجموع طول ریشه‌ها شد. در این آزمایش تیمار کلسیم نتوانست کاهش مجموع طول ریشه‌ها را محدود نماید.

1. Relative Water Content (RWC)

نتایج نشان داد که شوری و رقم تأثیر معنی‌دار بـر ارتفـاع گیاه نخود داشت (P≤۰/۰۱) (جدول ۱). بر این اساس، سـطوح شوری ۶ dS/m الی ۱۲ سـبب کـاهش معنـی‌دار ارتفـاع گیـاه نسبت به شاهد شدند. در این راسـتا تفـاوت ارتفـاع گیـاه بـین سطوح شوری ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر معنـی‌دار نبـود. در رقم جم، شوری ۹-۱۲dS/m منجر به کـاهش معنـی‌دار ارتفـاع گیاه نسبت به شـاهد شـد. شـوری از طریـق کـاهش پتانسـیل اسمزی محلول خاک، مانع جذب آب و امـلاح مـورد نیـاز گیـاه می‌شود. عدم تعادل عناصر غذایی به دلیل جـذب فعـال برخـی یون‌ها برای تنظیم اسمزی و تجمع برخی یون‌ها ماننـد سـدیم، در گیاهان کاهش رشد گیاه و ایجـاد سـمیت را بـه دنبـال دارد (Kaya *et al*., 2006). نتایج آزمایش حاضر حـاکی اسـت کـه تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جـم بیشـتر از رقم پیروز بود. احتمالاً کلسیم بـا ممانعـت از تخریـب غشـاء، جذب و انتقال مواد را در این شـرایط تنظـیم و مـانع از انتقـال سدیم می‌شـود. بررسـی‌هـا حـاکی از آن اسـت کـه در حضـور کلسیم، رشد و تقسیم سلولی، انتقال اسمیلات‌هـا و فرآینـدهای فتوسنتزی بهبود یافته و در نهایت رشـد گیـاه بهبـود مـی‌یابـد (Chen *et al*., 2001).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در مرحلـه گلـدهی نشـان داد کـه شـوری، رقـم، بـرهمکنش شـوری و کلسـیم و همچنین برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنـی‌داری بـر سطح برگ گیاه نخود داشت (P≤۰/۰۱) (جـداول ۱و۲). نتـایج نشان داد که سطح برگ در تمام سطوح شوری نسبت به شـاهد کاهش معنی‌داری داشت. در شوری ۹ و ۱۲ دسـی زیمـنس بـر متـر در هـر دو رقـم، سـطح بـرگ‌هـا در تمـام سـطوح شـوری به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. بـا افـزایش غلظـت نمـک در محیط رشد، نوعی خشکی فیزیولوژیک در گیاه ایجاد مـی‌شـود که خود عامل اصلی در جلوگیری از ایجاد فشـار تورژسـانس در سلول‌های گیاهی و ممانعت از رشد و تقسیم سلولی مـی‌باشـد، در نتیجه برگ‌های گیاهان، کوچک و ضخیم‌تر شده کـه نتیجـه آن کاهش رشد و تقسیم سلولی و نهایتاً کاهش سـطح بـرگ در گیاه می‌شود (Neeta Patil, 2012). کلسیم تـأثیر معنـی‌داری بر کاهش سطح برگ گیاه نداشت. استفاده از سولفات کلسیم بـا مهار انتقال سدیم سبب افزایش غلظت کلسیم در مناطق رشـد گیاه شده و تا حـدی سـرعت رشـد بـرگ را افـزایش مـی‌دهـد (Arshi *et al*., 2005).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 1. Analyze of variance of morphological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات **Source of variance**	درجه آزادی **df**	وزن خشک ساقه **Shoot dry weight**	وزن خشک‌برگ **Leaf dry weight**	وزن خشک ریشه **Root dry weight**	مجموع طول ریشه ها **Total root length**	ارتفاع گیاه **Plant height**	سطح برگ گیاه **Leaf area**
شوری NaCl	4	8626.02**	30330.71**	79262.38**	17995316.47**	85.75**	2620292.03**
کلسیم $CaSO_4$	1	257.92 ns	991.45 ns	393.73 ns	422877.422877 ns	0.13 ns	15855.94 ns
شوری و کلسیم NaCl× $CaSO_4$	4	883.013*	1821.19 ns	2993.57 ns	1368841.18**	1.33 ns	92532.09**
رقم Cultivar	1	2298.97*	7240.21*	17363.81**	108947.74 ns	55.58**	217550.92**
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	827.32 ns	651.14 ns	2691.79 ns	261233.04 ns	9.43 ns	35671.89 ns
کلسیم و رقم $CaSO_4$× Cultivar	1	200.2 ns	7.42 ns	1257.67 ns	10785.13 ns	16.8 ns	8194.71 ns
شوری و کلسیم و رقم NaCl× $CaSO_4$× Cultivar	4	401.98 ns	2050.25 ns	3186.25 ns	470723.82*	2.07 ns	161009.34**
Error خطا	40	335.99	1269.4	1783.21	168026.06	6.51	23450.63

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, ** and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 2. Mean comparisons of morphological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

سطوح شوری NaCl (dS/m)	سطوح کلسیم $CaSO_4$ (mM)	رقم Cultivar	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (g/p)	وزن خشک‌برگ Leaf dry weight (g/p)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g/p)	مجموع طول ریشه ها Total root length (mm/p)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	سطح برگ گیاه Leaf area (mm^2/p)
0	0	J	0.15 a	0.23 a	0.291 a	5193 a	24.08 a	1932 a
		P	0.103a	0.164 a	0.177 a	4162 b	25.75 a	1301 bc
	5	J	0.115 a	0.18 a	0.226 a	3240 c	25.5 a	1221 b-d
		P	0.0997 a	0.197 a	0.236 a	3455 c	24.5 a	1405 b
3	0	J	0.113 a	0.205 a	0.241 a	2369 de	24 a	1010 de
		P	0.0998 a	0.193 a	0.153 a	2159 e	25.17 a	1028 c-e
	5	J	0.109 a	0.218 a	0.17 a	2903 cd	23.83 ab	1172 b-d
		P	0.086 a	0.145 a	0.107 a	2301 de	23.08 a-c	782.8 ef
6	0	J	0.069 a	0.119 a	0.079 a	1841 e-g	19 b-e	706.5 fg
		P	0.065 a	0.105 a	0.073 a	1793 e-h	23.58 a-c	575.6 f-h
	5	J	0.093 a	0.177 a	0.113 a	1747 e-h	21.58 a-d	806.3 ef
		P	0.077 a	0.141 a	0.059 a	1963 ef	21.5 a-d	573.4 f-h
9	0	J	0.056 a	0.086 a	0.054 a	1171 g-i	18.83 c-e	478.6 gh
		P	0.049 a	0.084 a	0.05 a	1322 f-i	21.42 a-d	397.3 hi
	5	J	0.078 a	0.094 a	0.059 a	1028 hi	18.83 c-e	396.5 hi
		P	0.052 a	0.091 a	0.051 a	1195 f-i	20.83 a-d	397.1 hi
12	0	J	0.033 a	0.097 a	0.035 a	540.3 i	15.83 e	178.4 i
		P	0.065 a	0.078 a	0.032 a	1118 g-i	20.75 a-d	284.4 hi
	5	J	0.065 a	0.105 a	0.062 a	1223 f-i	16.83 de	429.9 g-i
		P	0.065 a	0.094 a	0.052 a	934.9 i	21 a-d	382.8 hi

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at ($P \leq 0.05$).

J: Jam; P: Pirooz

بررسی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه تحت تأثیر کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+}

نتایج نشان داد که شوری، رقم و برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر مقاومت روزنه‌ای گیاه نخود داشت (جدول ۳). داده‌ها نشان داد در این آزمایش مقاومت روزنه‌ای در رقم جم در تمام سطوح شوری و در رقم پیروز در شوری‌های ۶-۱۲dS/m نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌داری بیشتر بود. رقم جم نسبت به رقم پیروز در مقابل سطوح شوری و کاربرد کلسیم، حساسیت بیشتری از حیث مقاومت روزنه‌ای داشت (جدول ۴). بررسی‌ها حاکی از آن است که شوری از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای موجب کاهش میزان فتوسنتز می شود (Parida *et al.*, 2004). در واقع کاهش رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش ارتفاع و یا به دلیل بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها باشد. در شرایط تنش شوری توسعهٔ عمودی سلول‌های مزوفیل افزایش و فضاهای بین‌سلولی کاهش می‌یابد که نتیجه آن افزایش بیشتر مقاومت مزوفیلی برای ورود CO_2 می‌باشد. این موضوع سبب تقویت واکنش اکسیژناز رابیسکو شده که به تنفس نوری بیشتر و با هزینهٔ بیشتر فتوسنتز منتهی می‌شود. کلسیم با بهبود فعالیت روزنه‌ها تحمل گیاه را در برابر شوری بهبود می‌بخشد (Gorai *et al.*, 2010).

آنالیز واریانس مشاهدات، کاهش معنی‌دار عدد کلروفیل‌متر را در تمام سطوح شوری نشان داد (جداول۳ و ۴). نتایج حاصل مطابق با نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده روی گیاهان برنج و گندم بود (Yeo *et al.*, 1990). شوری سبب افزایش تولید پرولین و کاهش گلوتامات (پیش‌ساز کلروفیل و پرولین) در مسیر بیوسنتز کلروفیل می‌شود. فعالیت بیشتر کلروفیلاز سبب کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری شده است (Parvaiz & Satyawati, 2008). اعتقاد بر این است که در حضور سدیم فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای تبدیل گلوتامین به پرولین افزایش می‌یابد. در این رابطه کاهش مقدار نسبی کلروفیل تحت تنش شوری احتمالاً به علت نازکی برگ و پراکنده‌شدن کلروفیل در سطح برگ می‌باشد (Neeta Patil, 2012). کاهش سطح و تعداد برگ به کاهش سرعت فتوسنتز بوته‌ها منجر می‌شود (Bai *et al.*, 2011).

مقایسه میانگین مشاهدات در خصوص محتوای نسبی آب حاکی از آن بود که با افزایش شوری محتوای نسبی آب برگ در سطوح شوری ۶ الی ۱۲ dS /m نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۴). آزمایش حاضر مؤید آن است که در هر دو رقم تأثیر کلسیم در بهبود اثرات منفی شوری در سطوح پایین

شوری (کمتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از سطوح بالای شوری بود. در شرایط تنش شوری با کاهش توان جذب آب توسط گیاه، به تدریج نمک در بستر گیاه انباشت می‌شود و محتوای آب برگ به شدت کاهش می‌یابد (Cha-um *et al*., 2011). گزارش‌ها حاکی از آن است که کلسیم با مشارکت در سنتز پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، به‌طور غیرمستقیم بر فرآیند تنظیم اسمزی در گیاهان تحت تنش شوری تأثیرگذار است. در واقع کلسیم سبب افزایش محتوای آب سلولی و به دنبال آن رقیق‌شدن سدیم موجود در سیتوسول و دیواره سلولی شده و خسارت وارده را کاهش می‌دهد (Gholipoor *et al*., 2004).

مقایسه میانگین داده‌ها در سطوح مختلف در این آزمایش، کاهش شاخص پایداری غشاء در شرایط تنش شوری قابل ملاحظه است (جدول ۴). شوری سبب تغییر در ساختار، ترکیب لیپیدها و پروتئین‌ها شده و یکپارچگی غشاء سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در گلیکوفیت‌های حساس به شوری، نفوذپذیری یونی تغییر یافته و سدیم به عنوان پاسخ اولیه به تنش شوری جانشین کلسیم غشاء پلاسمایی می‌شود. در این آزمایش استفاده از سولفات کلسیم در هر دو رقم موجب افزایش پایداری غشاء شد که در رقم جم این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود. استفاده از کلسیم در همه سطوح شوری عمدتاً باعث افزایش پایداری غشاء شد. کلسیم نقش اساسی در برقراری پایداری غشاء و ثبات دیواره سلولی دارد. اهمیت کلسیم در تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون‌ها و کنترل تبادلات یونی دیواره اثبات شده است (Marschner, 1986). تحت تنش شوری میزان بیان ژن SOS_3 کاهش می‌یابد که با افزودن کلسیم جبران می‌شود. در واقع از طریق شرکت در فرایند تشکیل مجدد وابسته به کلسیم، ریزرشته‌های اکتین در تحمل به شوری نقش مهمی ایفا می‌کنند (Ye *et al*., 2013). استفاده از کلسیم به دلیل نقش آن در پایداری آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و کاهش اثرات سمیت مربوط به سدیم می‌تواند در جلوگیری از کاهش سرعت رشد گیاه موثر واقع شود (Sadeghi Lotfabadi *et al*., 2010).

با افزایش شوری میزان کلسیم برگ و ریشه به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت. میزان کلسیم برگ در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر و در ریشه در شوری ۹ الی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جداول ۵ و ۶). نتایج آزمایش نشان دادکه تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جم بیشتر از رقم پیروز می‌باشد. کلرید سدیم به‌دلیل ایجاد اشکال در رهاشدن کلسیم به داخل آوند چوبی ریشه از انتقال کلسیم در مسیر ریشه به ساقه، ممانعت می‌کند که این امر احتمالاً به‌دلیل تأثیر منفی بر انتقال فعال کلسیم به مجاری آوند چوبی انجام می‌گیرد. یون‌های سدیم برای اتصال به غشاء با یون کلسیم رقابت می‌کنند، بنابراین حضور غلظت بالای یون کلسیم می‌تواند سلول را از اثرات نامطلوب شوری محافظت نماید و مانع از ورود سدیم شود. جذب بسیاری از عناصر غذایی مانند کلسیم همراه با آب صورت می‌گیرد، بنابراین با کاهش جذب آب، جذب آن‌ها نیز کاسته می‌شود (Bush, 1995).

جدول۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 3. Analyze of variance of physiological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	مقاومت روزنه Stomatal Resistance	عددکلروفیل Spad number	محتوای نسبی آب Relative water content	شاخص پایداری غشاء Membrane stability
شوری NaCl	4	2569.39**	218.75**	6.3**	30776996**
کلسیم $CaSO_4$	1	6.34ns	9.84ns	1.7ns	4225258.6**
شوری و کلسیم NaCl× $CaSO_4$	4	53.55*	24.31*	0.2ns	549974.3**
رقم Cultivar	1	1106.82**	0.43ns	0.2ns	4950.4ns
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	54.8*	13.92ns	0.2ns	69868.1ns
کلسیم و رقم $CaSO_4$× Cultivar	1	59.4ns	15.71ns	0.3ns	437418.8**
شوری و کلسیم و رقم NaCl× $CaSO_4$× Cultivar	4	246.85**	15.3ns	0.2ns	161291.7*
Error خطا	40	15.85	9.04	1	58021.5

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, ** and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی.

Table 4. Mean comparison of physiological traits of Jam and Pirooz cultivar in flowering stage

سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر) **NaCl (dS/m)**	سطوح کلسیم (میلی‌مولار) **$CaSO_4$ (mM)**	رقم **Cultivar**	مقاومت روزنه **Stomatal resistance ($s\ cm^{-1}$)**	عددکلروفیل متر **Spad number ($mg\ g^{-1}$ FW)**	محتوای نسبی آب **Relative water content (%)**	شاخص پایداری غشاء **Membrane stability (%)**
0	0	J	17.55 ij	18.68 a	61.84 ab	54.72 a
		P	16.38 j	10.48 b	63.73 ab	61.43 a
	5	J	24.92 gh	9.7 bc	61.47 ab	72.75 a
		P	13.05 j	11.6 b	66.76 a	69 a
3	0	J	24.25 g-i	6.43 b-h	48.46 ab	44.2 a
		P	20.17 h-j	9.1 b-d	56.55 ab	44.69 a
	5	J	38.25 de	7.48 b-g	60.39 ab	49.44 a
		P	20.07 h-j	10.43 b	85.77 ab	44.25 a
6	0	J	45 cd	3.97 c-h	47.77 ab	32.8 a
		P	32.73 ef	4.63 c-h	49.57 ab	34.41 a
	5	J	45.75 bc	7.67 b-f	56.83 ab	37.57 a
		P	30.98 fg	8.47 b-e	51.13 ab	38.5 a
9	0	J	52.17 ab	1.9 f-h	46.57 b	28.67 a
		P	52.45 ab	2.07 f-h	47.41 ab	29.57 a
	5	J	57.25 a	3.57 d-h	48.19 ab	33.52 a
		P	38.33 de	3.15 e-h	49.63 ab	33.25 a
12	0	J	59.19 a	1.3 h	44.42b	21.44 a
		P	43.4 cd	1.73 gh	44.48 b	21.18 a
	5	J	45.17 cd	2.8 e-h	46.06 b	23.65 a
		P	56 a	3.53 d-h	45.39 b	24.32 a

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at ($P \leq 0.05$).

برهمکنش کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم برگ داشت (P≤۰/۰۵). نتایج نشان داد که بـا افـزایش شـوری میزان پتاسیم برگ کـاهش یافـت کـه ایـن کـاهش در سـطوح شوری ۹-۱۲dS/m نسبت به شاهد معنـی‌دار بـود (جـدول ۳). این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده در بررسی‌هـای انجـام‌شـده روی گیاهان جو، یولاف، عدس، برنج و لوبیا منطبـق اسـت (Amin Panah & Sorooshzadeh, 2005). در محـیط‌هـای شـور محتوای آب خاک و تحرّک پتاسیم، کاهش و قابلیت دسترسـی پتاسـیم بـرای ریشـه‌هـای گیـاه کـاهش مـی‌یابـد (Hu & Schmidhalter, 2005). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بـه دلیل ناقل مشترک انتقـال کـاتیون‌هـای Na^+ و K^+، یـون Na^+ برای شارش به درون سلول با K^+ رقابت می‌کند (Sudhire & Murthy., 2004). در شرایط تنش شوری یـون سـدیم سـبب دپولاریزاسیون غشاء گردیده و متعاقب آن کانال‌های پتاسـیمی یک سو به خارج باز شده و میزان یون پتاسـیم داخلـی کـاهش می‌یابـد (Shabala, 2000). میـزان پتاسـیم ریشـه و بـرگ در حضور کلسیم کاهش و در تیمـار سـولفات کلسـیم در دو رقـم افزایش یافت که این افزایش معنـی‌دار نبـود. تیمـار کلسـیم بـا محـدودکردن جابجـایی یـون سـدیم موجـب حفـظ غشـاء در فرایندهای غشایی موجود در ریشـه و بخـش هـوایی مـی‌شـود.

کلسیم با کاهش جذب سدیم، سبب افـزایش جـذب پتاسـیم و هم‌ایستایی K^+/Na^+ را در ریشـه تحـت شـرایط تـنش شـوری سبب می‌شود (Renault & Affifi., 2009).

نتایج نشـان داد کـه در شـوری ۹ dS/m کـاهش میـزان سدیم در حضور کلسیم در هر دو رقم معنی‌دار بود (جـدول ۳). در یک آزمایش مشخص شد که در غلظـت زیـاد نمـک، حلقـه کاسپاری قادر به ممانعت از ورود یون سدیم به داخل بافت‌هـای گیاه نمی‌باشد، در نتیجه با افزایش ورود سدیم به سلول تعـادل یونی از بین می‌رود (Etehadnia *et al*., 2010). مسـیر SOS تعادل یون سدیم و پتاسیم را در نقطه اتصـال ریشـه و خـاک و نیز انتقال یون سدیم از ریشه به ساقه را تنظیم می‌کنـد. تـنش شـوری نوسـانات کلسـیم سیتوسـولی را توسـط یـک پـروتئین تخصصی متصل بـه کلسـیم تحریـک و نتیجـه آن فعـال‌شـدن SOS_2 (پروتئین کینـاز سـرین/ ترئـونین) اسـت (Qiu *et al*., 2002). SOS_2 کینـاز موجـب فسـفریله و فعـال کـردن SOS_1 (آنتی پورتر Na^+/H^+ غشا پلاسمایی) شده که نهایتـاً SOS_1 بـا خارج‌کردن یون سدیم به خارج از ریشه به تحمل بیشـتر گیـاه به شوری کمک می‌کند (Quintero *et al*., 2002).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و ترکیبات معدنی ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 5. Analyze of variance of biochemical traits and Mineral Nutrients of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات **Source of variance**	درجه آزادی **df**	سدیم ریشه **Root Sodium**	سدیم برگ **Leaf Sodium**	پتاسیم‌ریشه **Root Potassium**	پتاسیم برگ **Leaf Potassium**	کلسیم‌ریشه **Root Calcium**	کلسیم برگ **Leaf Calcium**	پرولین‌ریشه **Root Prolin**	پرولین برگ **Leaf Prolin**
شوری NaCl	4	** 26.05	** 08.09	* 0.59	* 0.51	* 1.61	ns 0.27	** 24.28	** 586.2
کلسیم $CaSO_4$	1	* 8.88	ns 0.69	ns 0.16	ns 0.009	ns 0.06	ns 0.22	* 2.8	ns 1.15
شوری و کلسیم NaCl× $CaSO_4$	4	ns 1.13	ns 0.59	* 1.13	** 0.84	ns 0.28	ns 0.04	ns 0.85	** 132.96
رقم Cultivar	1	ns 8.33	* 4.23	ns 0.24	ns 0.07	* 2.47	ns 0	** 12.94	** 575.67
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	* 1.88	ns 0.65	ns 0.18	ns 0.31	ns 0.015	ns 0.008	ns 8.5	ns 45.95
کلسیم و رقم $CaSO_4$× Cultivar	1	ns 0.47	ns 1.05	ns 1.31	** 0.96	ns 0.91	ns 0.23	** 0.77	ns 80.53
شوری و کلسیم و رقم NaCl× $CaSO_4$× Cultivar	4	ns 0.75	** 3.31	ns 0.16	ns 0.395	ns 0.17	ns 0.18	ns 0.37	** 137.6
Error خطا	40	1.42	0.64	0.38	0.16	0.57	0.12	0.67	28.98

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, ** and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی و ترکیبات معدنی ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی.

Table 6. Mean comparison of biochemical traits and Mineral Ingredients of Jam and Pirooz cultivar in flowering stage

سطوح شوری **NaCl (dS/m)**	سطوح کلسیم **$CaSO_4$ (mM)**	رقم **Cultivar**	کلسیم برگ **Leaf Calcium**	کلسیم‌ریشه **Root Calcium**	پتاسیم برگ **Leaf Potassium**	پتاسیم‌ریشه **Root Potassium**	سدیم برگ **Leaf Sodium**	سدیم ریشه **Root Sodium**	پرولین برگ **Leaf prolin**	پرولین‌ریشه **Root prolin**
			(mg/100g DW)						**(µmol g^{-1} FW)**	
0	0	J	1.52 a	2.38 ab	2.5 a-e	2.05 a-c	2.14 de	3.67 g-i	9.67 c-e	1.4 cd
		P	1.69 a	1.83 ab	2.97 a	1.87 a-c	1.12 e	3.57 hi	7.45 c-e	0.25 cd
	5	J	1.58 a	2.45 ab	1.77 ef	1.35 bc	1.39 e	4.32 e-i	1.39 c-e	0.87 d
		P	156 a	2.11 ab	2.34 a-e	1.53 bc	2.14 de	3.13 i	3.53 e	0.74 d
3	0	J	1.09 a	2.84 a	2.34 a-e	1.62 bc	3.42 cd	5.36 c-f	13.52 c-e	0.79 d
		P	1.52 a	1.9 ab	2.85 a-c	1.8 a-c	5.07 ab	5.001 d-h	11.15 c-e	1.64 cd
	5	J	1.73 a	2.48 ab	2.05 d-f	1.82 a-c	5.1 ab	4.08 f-i	17.37 bc	10.1 d
		P	1.26 a	2.48 ab	2.36 a-e	1.35 bc	4.73 a-c	4.59 d-i	8.7 c-e	1.23 cd
6	0	J	1.41 a	2.12 ab	2.12 c-f	1.53 bc	4.61 a-c	7.05 ab	8.37 c-e	1.31 cd
		P	1.195 a	1.76 ab	2.22 a-e	1.77 a-c	5.41 ab	5.3 c-g	13.07 c-e	1.79 cd
	5	J	1.5 a	2.42 ab	2.81 a-d	2.33 ab	5.41 ab	5.82 b-e	14.5 b-d	1.22 cd
		P	1.59 a	1.87 ab	2.29 a-e	1.94 a-c	5.35 ab	4.23 e-i	9.95 c-e	1.63 cd
9	0	J	1.18 a	1.21 b	1.86 ef	1.53 bc	5.001 ab	7.26 ab	27.33 a	1.95 cd
		P	1.3 a	1.25 b	1.93 ef	1.73 a-c	6.13 a	5.31 c-g	14.69 b-d	2.26 cd
	5	J	1.56 a	2.002 ab	2.92 ab	1.96 a-c	3.38 cd	5.99 b-d	17.35 bc	1.85 cd
		P	1.45 a	1.28 b	2.15 b-e	1.84 a-c	4.54 bc	4.97 d-h	6.66 de	1.77 cd
12	0	J	1.14 a	1.84 ab	1.35 f	1.21 bc	5.72 ab	8.48 a	30.76 a	2.82 c
		P	1.09 a	1.89 ab	1.89 ef	1.59 bc	5.72 ab	8.29 a	28.45 a	4.21 a
	5	J	1.2 a	2.59 ab	2.55 a-e	2.55 a	4.75 a-c	6.87 a-c	24.01 ab	2.29 cd
		P	1.25 a	1.9 ab	1.93 ef	1.94 a-c	5.51 ab	6.98 ab	23.89 ab	3.38 b

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at ($P \leq 0.05$).

J: Jam; P: Pirooz

نتایج نشان داد که با افزایش شوری، میزان پرولین برگ و ریشه افزایش یافت که افزایش پرولین ریشه در سطوح شوری ۹-۱۲dS/m نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۶). این موضوع بیانگر حساسیت آن رقم نسبت به تجمع سدیم می‌باشد. بررسی‌ها حاکی از آن است که پرولین به عنوان پایدارکننده آنزیم‌ها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در

شرایط تنش شوری می‌شود (Farhoudi *et al*., 2011). در تنش‌های شوری به طور متوسط مقدار پرولین سریع‌تر از سایر اسیدهای‌آمینه افزایش می‌یابد و این ویژگی معیار مفید برای انتخاب واریته‌های مقاوم به خشکی و شوری می‌باشد. استفاده از کلسیم تحت تنش شوری در محیط رشد گیاه، نیاز آن را برای سنتز ترکیبات محافظت‌کننده اسمزی نظیر پرولین کاهش داده و به سازگاری بیوشیمیایی گیاه کمک می‌کند (Hadi & Sharif., 2007).

نتیجه‌گیری

شوری تأثیر چندجانبه‌ای بر گیاهان زراعی و از جمله نخود داشته و سبب تنش اسمزی، سمیت یونی و اختلال در تعادل یونی می‌شود. تنش شوری رشد هر دو رقم نخود (جم و پیروز) را کاهش و عمدتاً از طریق تأثیر بر غشاء، نفوذپذیری آن‌ها را افزایش داد. در تنش شوری محتوی پتاسیم و کلسیم بافت برگ و ریشه، رشد ریشه و اندام هوایی، میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت و کاربرد کلسیم توانست اثرات سمی ناشی از کلرید سدیم را تا حد زیادی کاهش و سبب افزایش بهبود نسبی رشد گیاه شود. میزان پرولین و سدیم برگ و ریشه در حضور کلریدسدیم افزایش یافت و در این شرایط کاربرد کلسیم نقش تعدیل کنندگی داشت.

منابع

1. Akbari Quzhi, E., Izadi Darbandi, A., Borzoi, A., and Majd Abadi, A., 2010. An investigation on morphologic changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype on salinity condition. Journal Science Technology Greenhouse Culture 4: 71-82.
2. Amin Panah, H., and Sorooshzadeh, A. 2005. The effect of Calcium Nitrate on Sodium and Potassium distribution in seedlings of rice under saline conditions. Iranian Journal of Biology 18: 92-99. (In Persian with English Summary).
3. Arshi, A., Abdin, M.Z., and Iqbal, M. 2005. Ameliorative effect of $CaCl_2$ on growth, ionic relations and proline content of senna under salinity stress. Journal of Plant Nutrition 28: 101-125.
4. Bai, R., Zhang, Z., Hu, Y., Fan, M., and Schmidhalter, U. 2011. Improving the salt tolerance of Chinese spring wheat through an evaluation of genotype genetic variation. Australian Journal of Crop Science 5: 1173-1178.
5. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. An International Journal on Plant-Soil Relationships 39: 205-207.
6. Bian, Sh., and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Journal of Scientia Horticulturae 120: 246-270.
7. Budakli Carpici, E., Celik, N., and Bayram, G. 2010. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. African Journal of Biotechnology 9: 6937-6942.
8. Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 46: 95-122.
9. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. Method of Analysis for Soil, Plants and Water. University of California, Division of Agricultural Sciences. Technology & Engineering. 309 pp.
10. Cha-um, S., Pokasombat, Y., and Kirdmanee, C. 2011. Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure-Importance for the production of Jasmine rice. Australian Journal of Crop Science 5: 458-465.
11. Chen, J.L., Wang, S., Huttermann, A., and Altman, A. 2001. Salt nutrient uptake and transport and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soil NaCl. Journal of Biosystem and Engineering 15: 186-194.
12. Etehadnia, M., Schoenau, J., Waterer, D., and Karen, T. 2010. The effect of $CaCl_2$ and NaCl salt acclimation in stress tolerance and its potential role in ABA and scion/rootstock-mediated salt stress responses. Journal of Plant Stress 4: 72-78.
13. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. Handbook for Saline soil management. 144 pp.

14. Farhoudi, R., Saeedipour, S., and D. Mohammadreza. 2011. The effect of NaCl seed priming on salt tolerance, antioxidant enzyme activity, proline and carbohydrate accumulation of Muskmelon (*Cucumis melo* L.) under saline condition. African Journal of Agricultural Research 6: 1363-1370.
15. Gholipoor, M., Rahimzadeh-Khoii, F., Ghasemi, K., and Moghaddam, M. 2004. Effect of salinity on chockpea cultivars at heterotrophic stage. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 10: 97-106.
16. Gorai, M., Ennajeh, M., Khemira, H., and Neffati, M., 2010. Combined effect of NaCl-salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in Phragmites australis plants. Jounal of Flora (Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants) 205: 462-470.
17. Hadi, M.R., and Sharif, M.A. 2007. Study effects of salinity on the seed germination of *Seidlitzia rosmarinus*. Journal of Pajouhesh & Sazandegi 76: 151-157. (In Persian with English Summary).
18. Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition 168: 541-549.
19. Humeau, J., Bravo-San Pedro, M., Vitale, I., Nuñez L., Villalobos، C., Kroemer, G., and Senovilla, L. 2018. Calcium signaling and cell cycle: Progression or death. Journal of Cell Calcium 70: 3-15.
20. Kaya, C., Ashraf, M., Dikilitas, M., and Tuna, A.L. 2013. Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients- A field trial. Australian Journal of Crop Science 7: 249- 254.
21. Kaya, M.D., Okcu, G., Cikili, Y., and Kolsarici., O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in Sunflower (*Heliantohus annus*). European Journal of Agronomy 24: 291-295.
22. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati. K.H., and Khalighi, A. 2010. The Effect of salinity stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of eppermint (*Mentha piperita* L). World Applied Sciences Journal 11: 1403-1407
23. Kumar Parida, A., and Bandhu Das, A. 2004. Salt tolerance and salinity effects on plants. Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.
24. Levent Tuna, A., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I., and Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. Journal of evironmental and Experimental Botany 59: 173-178.
25. Maliro, M.F.A., Mc Neil, D.L, Redden, B., Kollmorgen, J.F., and Pittock, C. 2008. Sampling strategyies and screening of chickpea (*Cicer arietinum*) germplasm for salt tolerance. Journal of Genetic Resources and Crop Evolution 55: 53-63.
26. Marshner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. A Harcourt Science and technology company 889 pp.
27. Neeta Patil, M. 2012. Adaptations in response to salinity in safflower cv. Bhima. Asian Journal of Crop Science 4: 50-62.
28. Parida, A.K., and Bandhu, A. 2004. Salt tolerance and salinity effects on plants. Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.
29. Parvaiz, A., and Satyawati, S. 2008. Salt Stress and phyto-biochemical responses of plants. Journal of Plant soil environment 54: 89-99.
30. Qiu, Q.S., Guo, Y., Dietrich, M.A., Schumaker, K.S., and Zhu, J.K. 2002. Regulation of SOS1, a plasma membrane Na^+/H^+ exchanger in *Arabidopsis thaliana*, by SOS_2 and SOS_3. Proceeding of a National Academy of Sciences of the United State of America 99: 8436-8441.
31. Quintero, F.J., Ohta, M., Shi, H.Z., Zhu, J.K., and Pardo, J. M. 2002. Reconstitution in yeast of the Arabidopsis SOS signaling pathway for Na^+ homeostasis. Proceeding of a National Academy of Sciences of the United State of America 99: 9061-9066.
32. Renault, S., and M. Affifi. 2009. Improving NaCl resistance of red-osier dogwood: Role of $CaCl_2$ and $CaSO_4$. Journal of Plant Soil 315: 123-133.
33. Sadeghi Lotfabadi, S., Kafi, K., and Khazaei, H.R. 2010. Effects of calcium, potassium and method of application on sorghum (*Sorghum bicolor* L.) morphological and physiological traits in the presence of salinity. Journal of Soil and Water Conservation 24: 385-393.
34. Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2001. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science 184: 55-61.
35. Sanders, D., Pelloux, J., Brownlee, C., and Harper, J.F. 2002. Calcium at the crossrouds of signaling. Plant Cell 14: 401-417.

36. Shabala, S. 2000. Ionic and osmotic components of salt stress specifically modulate net ion fluxes from bean leaf mesophyll. Journal of Plant Cell and Environment 23: 825-837.
37. Shahid, M.A., Balal, R.M., and Pervez, M.A. 2012. Differential response of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes to salt stress in relation to the growth, physiological attributes antioxidant activity and organic solutes. Australian Journal of Crop Science 6: 828-838.
38. Singh, A.K. 2004. The physiology of salt tolerance in four genotypes of chickpea during germination. Journal of Agriculture Science and Technology 6: 87-93.
39. Sudhire, P., and Murthy, S.D.S. 2004. Effect of salt stress on basic processes of photosynthesis. Journal of Photosynthetica 42: 481-486.
40. Tahir, M.A., Rahmatullah, A., Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S., and Maqsood, M.A. 2006. Benefical effects of Silicon in wheat under salinity stress. Journal of Botany 38: 1715-1722.
41. Ye, J., Zhang, W., and Guo, Y. 2013. Arabidopsis SOS_3 plays an important role in salt tolerance by mediating calcium-dependent microfilament reorganization. Plant Cell Reports 32: 139-148.
42. Yeo, A.R., Flowers, S.A., Rao, A., Welfare, K., Senayake, N., and Flowers, T.J. 1990. Silicon reduces sodium uptake in rice *Oryza sativa* L. in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational by pass flow. Journal of Plant cell and Environment 22: 559-562.
43. Zaki, R.N., and Radwan, T.E. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. Journal of Applied Sciences Research 7: 42-55.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 2, 2020, p. 109-121 (Research Article)

The interaction of sodium and potassium ions on some morpho-physiological traits of Jam and Piroz chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.)

Shams Abadi[1], M., Ganjeali[2*], A., Lahouti[3], M. & Amjadi[4], E.

1. Graduated of Master of Plant Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; ganjeali@um.ac.ir
2. Department of Biology, Faculty of Science & Department of Legumes, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Department of Biology, Faculty of Science Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; mlahouti@um.ac.ir
4. PhD. Student of Plant Physiology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; elham.amjadi@yahoo.com

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78938

Received: 30 January 2019
Accepted: 6 May 2019

Introduction

Chickpea is one of the most important sources of protein in human diet. The significance of salinity resistant genotypes for growth and development has been recognized in saline environments. Recognition of salin resistant genotypes is an important and economical goal to improve chickpea performance in saline soils. Under salinity stress, destruct chloroplast structure and decreases photosynthetic pigments. Osmotic regulations induced by changes in nitrogen metabolisms in via formation of prolin. Prolin, as a osmosis regulator between cytoplasm and vacoel, by preventing denaturation of protein structures, protects cellular structure against free radicals. Calcium is an essential element to improvement of injurey of salinity stress in plant. Calcium is substitute other cations in plasma membrane. Plasma membrane is strongly sensitive to salinity stress specialy while the the calcium concentration is low. Studies show that the ion accumulation site in saline tolerant plants is vacuoles. Due to ameliorative role of calcium in saline stress, the present study was conducted to investigate the response of common chickpea cultivars to different concentrations of Na^+ and Ca^{2+} ions in flowering stage.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of calcium on amelioration of salinity damage, a factorial experiment as completely randomized design with three replications was conducted by five sodium chloride (0, 3, 6, 9, 12 dS/m) and two calcium sulfate levels (0 and 5 mM) in phytotron condition in Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. Each experimental unit was a pot with 2 liter that contain mix of soil garden and silt. After 6 weeks plants were extracted and morphological traits such as plant height, leaf area, root length, dry weight of shoot, leaf and root, root area and physiological traits such as SPAD number, membrane stability, leaf relative water content, and biochemical traits such as Sodium, potassium and calcium, proline were measured. Data analysis was performed by Mstat-C and used Duncan's multiple domain test ($P < 0.05$) to compare means.

Results and Discussion

The results showed that salinity significantly increased the sodium and proline contains of leaves and roots. Na+ concentration in 9 dS/m salinity, significantly decreased in both cultivars. Also, salinity increased the potassium content of leaf and calcium content of root and shoot. Leaves potassium content under 9-12 dS/ m salinity, calcium only under 12 dS/m salinity and root calcium content under 9 to 12 dS/m compared to control significantly decreased. Studies have shown in high salinity concentrations, the caspary ring can not inhibit the arrival of sodium ions into the tissues plant and ends with leaves through the unilateral flow of

***Corresponding Author:** ganjeali@um.ac.ir

wood. In toxic contaminants of Na^+, the glutamateligase enzyme activity increases to convert glutamine to proline. In saline environments, application of calcium is required to synthesis of osmotic protection compounds such as proline, to biochemical compatibility of plant. Salinity increases proline product and decreases the synthesis of chlorophyll precursor. Also, chlorophyll content decreases due to increased chlorophylase activity. The SPAD number and the membrane stability index significantly decreased at 6 to 12 dS/m salinity. In both cultivar, amilorateing effect of calcium under lower salinites (less than 6 dS/m) was higher than the high levels of salinity. For Jam cultivars, the use of calcium sulfate significantly increased the membrane stability index compared to control (no calcium application) in all salinity levels. In salt stress conditions, the capacity of water absorption in plant decreases and gradually salt accumulates in plant environment. Research has shown that salinity decreases the photosynthesis by reducing stomatal conductance. In this way, salinity stress usally increase number and dimensions of stomata per leaf area. The results of means comparison showed that plant height under 6-12 dS/m salinites, significantly decreased compared to control. The cause of less plant growth in high concentrations of Na^+ is joint effects of osmotic stress, ion toxicity and nutrient concentrations, which limits the amount of available water of the plant and reduces root water absorption.

Conclusion

Salinity has a great effect on the growth of crops such as chickpea. High concentrations of Na^+ reduced the growth of both chickpea cultivars (Jam and Pirooz) by increasing the permeability of the membrane. Calcium treatment in lower salinity levels could improved the relative growth of the plants and it is belive that calcium acts as a moderator salinity leveles.

Keywords: Calcium, Chickpea, Flowering stage, Salinity stress